

可变相位中心天线阵校准技术

孙学军

(电子科技大学, 四川 成都 610054)

摘要 某类型可变相位中心天线的相位中心随频率和入射方位变化, 而且受到天线阵架设环境的影响。因此需要在理想计算相位中心的基础上, 在现场发射测试信号来修正各种误差引起的相位中心变化。提出一种现场校准方法, 设计了校准天线的架设方法, 推导出由测向基线相位差计算天线单元相位中心与阵中心距离的方程。仿真表明, 天线单元相位中心经过校准后, 空间谱测向算法的空间分辨力有明显提高。

关键词 可变相位中心天线; 相位中心; 校准; 空间谱

中图分类号 TN911.72 文献标识码 A 文章编号 1003-3106(2009)12-0043-03

The Calibration Method for Phase Center of LPA Array

SUN Xue-jun

(Univ. of Elec. Sci. & Tech. of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

Abstract The phase center of LPA varies with signal frequency and direction of arrival. Then it is needed to compensate the phase center variety due to all kind of errors by transmitting a testing signal based on the ideal calculation. The paper presents a method of compensation on site and designs the setup of testing antennas. Then it deduces the equation of the distance from LPA phase center to array center based on phase difference of DF baseline. The emulation testifies that distinguishing ability of MUSC is improved after the LPA phase center compensation in evidence.

Key words antenna with variable phase center; phase center; calibration; space-spectrum

0 引言

在测向系统中, 测向天线的方向特性、增益特性和频率覆盖范围是影响测向系统性能的重要指标。某可变相位中心天线具有频带宽、增益高等优点, 并且方向特性在覆盖的频段内基本稳定。因此, 这种形式天线广泛应用在现代测向系统中, 主要应用形式有机械旋转天线体制、电旋转天线圆形阵体制、干涉仪空间谱测向体制等。

在某侦测系统中, 天线阵由 N 个可变相位中心天线单元组成圆阵, 采用干涉仪和空间谱测向体制, 需要利用天线的可变相位中心信息。而该型天线的相位中心不仅随频率和入射方位变化, 而且会受到天线阵架设环境的影响, 例如天线阵场地不平整、周边环境、天线安装塔等都会对天线的相位中心产生影响。因此需要在理想计算相位中心的基础上, 在现场发射测试信号, 修正各种误差引起的相位中心变化。

1 测试塔设计

系统天线阵由 N 个可变相位中心天线单元组

成, 天线单元数可根据系统要求和场地条件进行调整, 各单元均匀分布组成方向阵。用干涉仪和空间谱测向时, 选用相邻的 7~10 个天线单元参与运算。天线布阵和测试塔位置如图 1 所示。其中, 第 1 号天线指向正北 0° , 天线单元序号按顺时针排列。

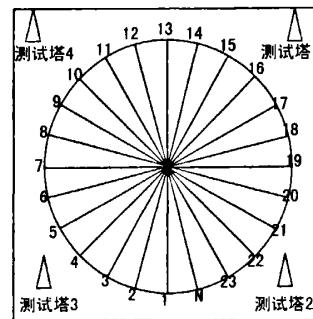


图 1 测试塔和天线安装位置

4 座测试塔分别安装在 45.5° 、 137.5° 、 229.5° 、 321.5° 。每座测试塔上安装 2 幅校准发射天线, 分别相距 7.21 m 、 6.75 m 、 6.34 m 、 5.40 m , 二者之间相对阵中心的夹角为 1° 。各个测试塔上的发射天线分别编号为 1~8, 则各天线安装位置如表 1 所示。

通过在不同测试塔上的校准天线发射信号, 可以在不同方位校准单元天线的相位中心。利用天线单元的一致性和对称性, 可以校准天线单元从 -60°

收稿日期: 2009-09-13

开始,步进 $1^\circ \sim 60^\circ$ 范围内的相位中心,满足测向搜索范围要求。测试塔的高度根据天线阵高度可进行适当调整,使得天线系统可良好接收测试信号。测试信号的频率可根据天线阵的响应进行选取,一般采用均匀选择测试频率点的方案。测试时可采用频率源自动变换方式,提高系统的测试效率。

表 1 测试天线安装位置

序号	与天线阵中心距离/m	北偏东夹角/°
1	296.98	45
2	291.93	46
3	287.14	137
4	282.58	138
5	278.25	229
6	274.14	230
7	270.22	321
8	266.88	322

2 相位中心校准

相位中心校准的目的是在实际环境下,获得组成测向基线的天线单元的相位中心与阵中心的距离。由于测试塔距天线阵中心距离较近,达不到远场的要求,所以需要按照球面波来计算天线单元相位中心与阵中心的距离。

在测向处理中,最长的基线是由间隔 $7 \sim 10$ 个单元的 2 个天线单元组成,夹角 90° 。在不同相对角度发射信号时,通过测试天线与测向基线的几何相对关系,可以求得单元天线相位中心与阵中心的距离。测试天线与测向基线的几何相对关系如图 2 所示。

图 2 中, T_1 为垂直测向基线即 0° 方向入射的测试天线; T_2 为等效其他入射方向的测试天线,与 T_1 的夹角为 θ 。 θ 范围为 $[-60^\circ, 60^\circ]$,顺时针方向为正。通过几何关系计算,可以求得天线单元相位中心距离阵中心的距离 R 。

B_1 与 B_2 距离、 O 与 B_2 距离分别为:

$$L_{B_1 B_2} = L_{OB_1} \tan(\theta) = \sqrt{2} R \tan(\theta) / 2;$$

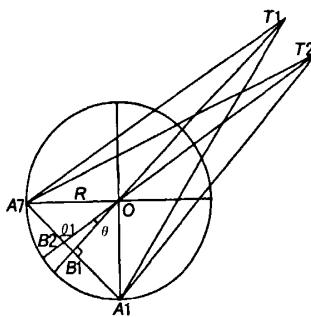


图 2 测试天线与测向基线几何关系

$$L_{OB_2} = L_{OB_1} \tan(\theta) = \sqrt{2} R \tan(\theta) / 2;$$

已知校准天线 T_2 与阵中心 O 的距离 L ,可以求得校准天线与 A_7 单元相位中心的距离:

$$L_{T_2 A_7} = \sqrt{L_{B_2 A_7}^2 + L_{T_2 B_2}^2 - 2 L_{B_2 A_7} L_{T_2 B_2} \cos(\theta)} = \sqrt{R^2 + \sqrt{2} (\cos(\theta) + \sin(\theta)) L R + L^2}.$$

同样可以求得校准天线与 A_1 单元相位中心的距离:

$$L_{T_2 A_1} = \sqrt{L_{B_2 A_1}^2 + L_{T_2 B_2}^2 + 2 L_{B_2 A_1} L_{T_2 B_2} \cos(\theta)} = \sqrt{R^2 + \sqrt{2} (\cos(\theta) - \sin(\theta)) L R + L^2}.$$

假设接收机测量天线单元 A_1 与 A_7 的相位差为 ϕ ,信号波长 λ ,可以得到波程差与相位差关系:

$$L_{T_2 A_7} - L_{T_2 A_1} = \phi \lambda / 2\pi.$$

经过简化可以得到关于 R 的二次方程:

$$\left(1 - \frac{8\pi^2 L^2 \sin^2(\theta)}{\phi^2 \lambda^2}\right) R^2 + \sqrt{2} L \cos(\theta) R + L^2 - \frac{\phi^2 \lambda^2}{16\pi^2} = 0.$$

求解方程得到 2 个解,可以取接近设计相位中心的解为天线单元的实际相位中心。

同样,利用天线单元 A_2 与 A_6 、 A_3 与 A_5 组成的测向基线,可以求得的各天线单元相位中心与中心的距离。

对上述标准方法进行仿真。在仿真中,天线单元设计相位中心扰动服从均方根 2 m 的正态分布。假设 2 个同频信号分别从 40° 和 50° 方向入射。选取第 1~7 单元组成的天线子阵作测向处理。在相位中心校准中,分别选取 A_1 和 A_7 、 A_2 和 A_6 、 A_3 和 A_5 天线单元对作校准,第 A_4 单元取设计相位中心值。空间谱算法的空间谱值在校准前后变化如图 3 所示。从图 3 中可以看出,校准后空间谱分辨率有明显改善。可解决因为没有校准带来的谱峰模糊等问题,调高了谱峰的搜索的准确度,在分辨率提高的同时改善了系统的测向准确度。

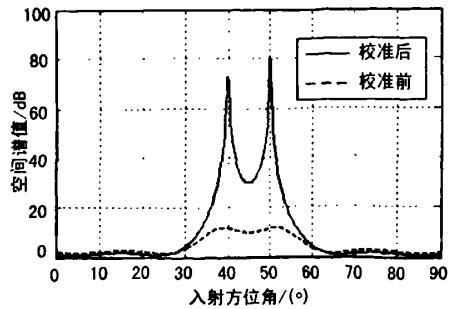


图 3 校准前后空间谱分辨率

3 结束语

在某个由可变相位中心天线单元组成的内向圆阵中,由于天线的相位中心随频率和入射方位变化,而且受到天线阵架设环境的影响。需要在理想计算相位中心的基础上,在现场发射信号测试,修正各种误差引起的相位中心变化。提出了一种现场校准方法,设计了校准天线的架设方法,推导出由测试基线相位差计算天线单元相位中心与阵中心距离的方程。该方法经仿真表明具有可实现性,可以用来指

导工程实践。仿真表明天线单元相位中心经过校准后,空间谱测向算法的空间分辨力有明显提高。◆

参考文献

- [1] 金元松,任晓飞.对数周期偶极子天线全空间可变相位中心[J].电波科学学报,2007,22(2):229-233.
- [2] 丁晓磊,王建.对数周期偶极子天线相位中心的分析和计算[J].电子学报,2003,31(9):1375-1377.

作者简介

孙学军 男,(1976-),电子科技大学电工学院研究生。主要研究方向:阵列信号处理。

(上接第 25 页)



图 1 Lena 图像的超分辨率重建结果



图 2 重建图像细节部分对比

由表 1 可见,不论是在低信噪比情况下还是高信噪比情况下,本文提出的 BR 算法的重建效果都比传统 MAP 算法要好,而且在高信噪比情况下尤为明显。

表 1 输入输出信噪比

输入 dB	10	20	30	40	50
BR 输出 dB	26.85	28.29	29.24	30.09	30.14
MAP 输出 dB	26.31	26.81	27.50	27.95	28.00

由表 2 可知,本文提出的 BR 算法的迭代收敛速度相当不错,在迭代次数达 80 时即可以达到 30 dB 的 PSNR,与传统 MAP 算法相比有较大提高。

表 2 算法迭代性能数据

迭代次数	20	40	50	60	80
B R 算法/dB	22.13	28.12	29.02	29.51	30.12
MAP 算法/dB	21.34	26.63	26.82	27.43	27.92

5 结束语

本文提出了一种基于提升小波的双正则化 SR 重建算法,通过引入图像平滑性约束和点扩散函数平滑性约束,缩小了重建的解空间。使用提升小波,在小波域上进行的算法迭代,减少了运算量,提高了重建图像的质量。该算法的显著特点是能够快速有效的实现超分辨率图像重建。实验表明该算法与传统 MAP 算法相比具有较好的重建效果,其迭代收敛速度也比传统 MAP 算法有较大提高。◆

参考文献

- [1] SWELDENS W. The Lifting Scheme: A construction of Second Generation Wavelets [J]. SIAM J. Math. Anal., 1997, 29(2): 511-546.
- [2] NG M K, BOSE N K. Mathematical Analysis of Super-resolution Methodology [J]. Signal Processing Magazine, IEEE, 2003, 20(3):62-74.
- [3] CHANG S G, CVETKOVIC Z, VETTERLI M. Locally Adaptive Wavelet - Based Image Interpolation [J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2006, 15(6): 1471-1485.
- [4] NGUYEN N, MILANFAR P. An Efficient Wavelet-based Algorithm for Image Superresolution [R]. Proc. Int. Conf. Image Processing, 2000:351-354.
- [5] BOSE N K, KOO J. Advances in Superresolution Using L-curve [J]. in Proc. Int. Symp. Circuits and Systems, 2001(2): 433-436.
- [6] SROUBEK E. A Unified Approach to Superresolution and Multichannel Blind Deconvolution [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2007, 16(9):2322-2332.

作者简介

薛伟 男,(1983-),中国科学技术大学硕士研究生。主要研究方向:信号处理、图像分析和图像理解。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>